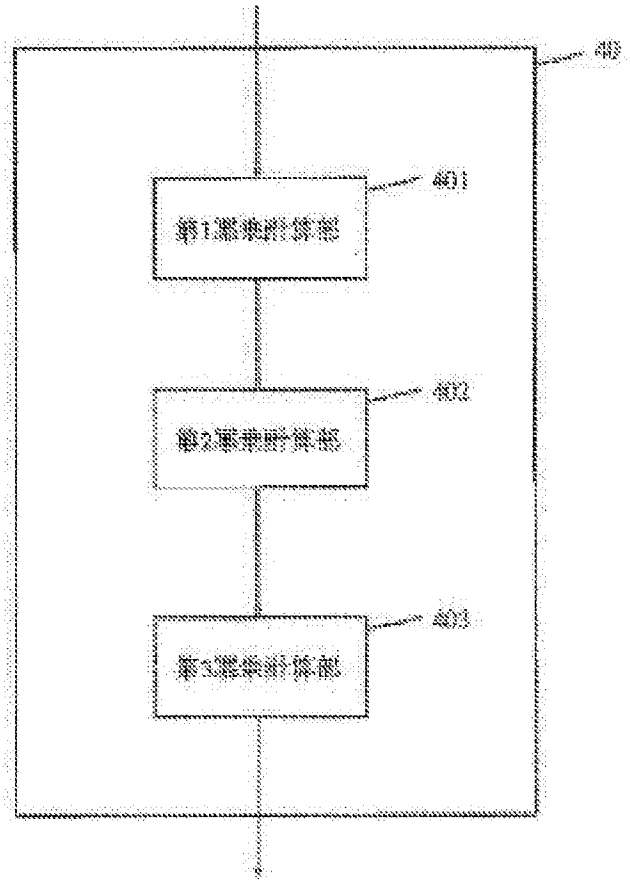
POLYNOMIAL ARITHMETIC DEVICE, DEVICE FOR CALCULATING ORDER OF ELLIPTIC CURVE, DEVICE FOR GENERATING ELLIPTIC CURVE, AND CRYPTOGRAPHIC SYSTEM FOR ELLIPTIC CURVE

Publication number: JP2000321979 (A)
Publication date: 2000-11-24
Inventor(s): FUDA YUICHI
Applicant(s): MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD
Classification:
- international: ***G09C1/00; G06F7/72;*** **G09C1/00; G06F7/60;** (IPC1-7): G09C1/00; G06F7/72
- European:
Application number: JP19990133814 19990514
Priority number(s): JP19990133814 19990514

Abstract of **JP 2000321979 (A)**

PROBLEM TO BE SOLVED: To permit high velocity and safe cryptography method and signature method by providing a polynomial arithmetic device with first the second power calculation means and allowing the second power calculation means to use the result outputted from the first power calculation device. SOLUTION: In this polynomial arithmetic device, a first power calculation part 401 calculates and outputs X'p, X'(2p),..., X'((d-1)p) in one variable polynomial residue ring R=GF(q)[X]/r(X) with GF(q) (q=p'n, where p is prime number, and p'n means nth power of p) as a finite body, X as a variable, and a solution as a previously given r(X) (degree d) being a coefficient GF(q). A second power calculation part 402 outputs X'q by inputting X belonging to R and X'p, X'(2p),..., X'((d-1)p) of the first power calculation part 401.; A third power calculation part 403 calculates f(X)7((q-1)/2) by inputting X belonging to R and X'p, X'(2p),..., X'((d-1)p) of the first power calculation part 401.



Data supplied from the ***esp@cenet*** database — Worldwide

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12) **公開特許公報（Ａ）**　(11)特許出願公開番号
特開2000－321979
（P2000－321979A）
(43)公開日　平成12年11月24日(2000.11.24)

(51)Int.Cl.⁷	識別記号	ＦＩ		テーマコード（参考）
Ｇ０９Ｃ　1/00	６５０	Ｇ０９Ｃ　1/00	６５０Ｚ	５Ｊ１０４
			６５０Ａ	９Ａ００１
Ｇ０６Ｆ　7/72		Ｇ０６Ｆ　7/72		

審査請求　未請求　請求項の数８　ＯＬ　（全 ９ 頁）

(21)出願番号　特願平11－133814

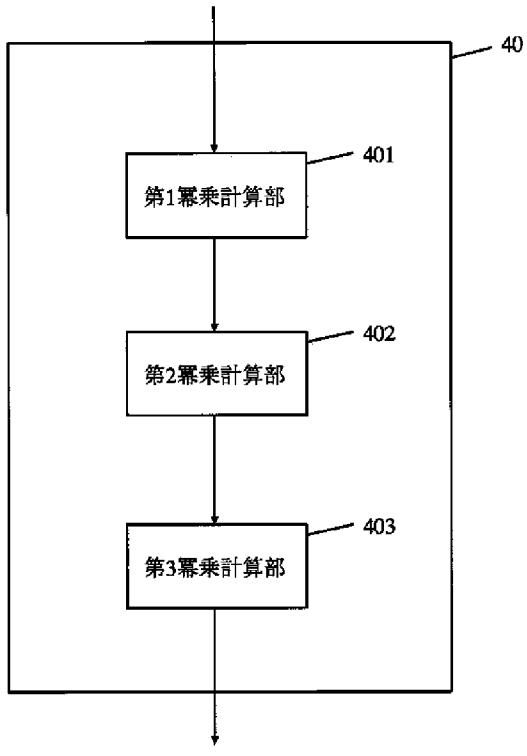
(22)出願日　平成11年５月14日(1999.5.14)

(71)出願人　000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(72)発明者　布田　裕一
大阪府門真市大字門真1006番地　松下電器産業株式会社内
(74)代理人　100097445
弁理士　岩橋　文雄　（外２名）

Ｆターム(参考)　5J104 AA22 AA25 JA25 JA29 NA16 NA18
9A001 BB02 EE03 FF01 GG01 GG11 GG22 KK12 LL02 LL03

(54)【発明の名称】　多項式演算装置、楕円曲線位数計算装置、楕円曲線生成装置及び楕円曲線暗号システム

(57)【要約】
【課題】　本発明は、高速な多項式演算装置を提供し、それにより高速に安全な楕円曲線を生成することのできる楕円曲線生成装置を提供する。
【解決手段】　有限体GF(q)(q=p^n、p:素数)上の多項式r(X)を法とする 1変数多項式剰余環R=GF(q)[X]/(r(X))において、Rに属する多項式X、f(X)を入力とし、Rに属する多項式X^q、f(X)^((q-1)/2)を出力する多項式演算装置であって、前記多項式Xに対して、X^p、X^(2p)、X^(3p)、...、X^((d-1)p)を計算する第1冪乗計算部と、f(X)^((q-1)/2)を計算する第2冪乗計算部を備え、前記第2冪乗計算手段は、前記第1冪乗計算手段から出力される結果を用いる。



【特許請求の範囲】

【請求項１】　予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上の予め与えられた多項式r(X)(次数d)を法とする1変数多項式剰余環R=GF(q)[X]/(r(X))において、Rに属する多項式X、f(X)を入力とし、

Rに属する多項式X^q、f(X)^((q-1)/2)を出力する多項式演算装置であって、

前記多項式Xに対して、X^p、X^(2p)、X^(3p)、...、X^((d-1)p)を計算する第1冪乗計算手段と、f(X)^((q-1)/2)を計算する第2冪乗計算手段とを備え、

前記第2冪乗計算手段は、前記第1冪乗計算手段から出力される結果を用いることを特徴とする多項式演算装置(ただし、p^nはpのn乗を示す)。

【請求項２】　前記第2冪乗計算手段は、f(X)^((p-1)/2)を計算する中間計算を行ってから、前記第1冪乗計算手段から出力される結果を用いて、

$$f(X)^{((p^2-1)/2)}=(f(X)^{((p-1)/2)})^p\times f(X)^{((p-1)/2)}$$

$$f(X)^{((p^3-1)/2)}=(f(X)^{((p^2-1)/2)})^p\times f(X)^{((p-1)/2)}$$

....

$$f(X)^{((p^n-1)/2)}=(f(X)^{((p^{(n-1)}-1)/2)^p\times f(X)^{((p-1)/2)}}$$

により計算することを特徴とする請求項1記載の多項式演算装置。

【請求項３】　予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上の楕円曲線を入力とし、前記楕円曲線の位数を出力する楕円曲線位数計算装置であって、予め与えられた初期値を設定する初期値設定部と、位数の情報を求める楕円曲線位数情報計算部と、前記楕円曲線位数情報計算部の終了判定を行う計算終了判定部と、前記楕円曲線位数情報計算部から出力される情報を用いて楕円曲線の位数を決定する楕円曲線位数決定部とを備え、

前記楕円曲線位数情報計算部は、請求項1に記載の多項式演算装置を有することを特徴とする楕円曲線位数計算装置。

【請求項４】　予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上の楕円曲線を入力とし、前記楕円曲線の位数を出力する楕円曲線位数計算装置であって、予め与えられた初期値を設定する初期値設定部と、位数の情報を求める楕円曲線位数情報計算部と、前記楕円曲線位数情報計算部の終了判定を行う計算終了判定部と、前記楕円曲線位数情報計算部から出力される情報を用いて楕円曲線の位数を決定する楕円曲線位数決定部とを備え、

前記楕円曲線位数情報計算部は、請求項2に記載の多項式演算装置を有することを特徴とする楕円曲線位数計算装置。

【請求項５】　予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上で定義され、予め与えられた条件を満たす楕円曲線を出力する楕円曲線生成装置であって、予め与えられた楕円曲線設定値に基づいて楕円曲線を設定する楕円曲線設定部と、前記有限体上の楕円曲線の位数を計算する楕円曲線位数計算部と、前記楕円曲線設定部で設定した楕円曲線を、前記与えられた条件で判定する楕円曲線条件判定部とを備え、

前記楕円曲線位数計算部は、請求項3に記載の楕円曲線位数計算装置を有することを特徴とする楕円曲線生成装置。

【請求項６】　予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上で定義され、予め与えられた条件を満たす楕円曲線を出力する楕円曲線生成装置であって、予め与えられた楕円曲線設定値に基づいて、楕円曲線を設定する楕円曲線設定部と、前記有限体上の楕円曲線の位数を計算する楕円曲線位数計算部と、前記楕円曲線設定部で設定した楕円曲線を、前記与えられた条件で判定する楕円曲線条件判定部とを備え、

前記楕円曲線位数計算部は、請求項4に記載の楕円曲線位数計算装置を有することを特徴とする楕円曲線生成装置。

【請求項７】　予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上で定義され、予め与えられた条件を満たす楕円曲線を用いる楕円曲線暗号システムであって、予め与えられた楕円曲線設定値に基づいて、楕円曲線を設定する楕円曲線設定部と、前記有限体上の楕円曲線の位数を計算する楕円曲線位数計算部と、前記楕円曲線設定部で設定した楕円曲線を、前記与えられた条件で判定する楕円曲線条件判定部とを備え、

前記楕円曲線位数計算部は、請求項3に記載の楕円曲線位数計算装置を有する楕円曲線生成装置により生成されることを特徴とする楕円曲線暗号システム。

【請求項８】　予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上で定義され、予め与えられた条件を満たす楕円曲線を用いる楕円曲線暗号システムであって、予め与えられた楕円曲線設定値に基づいて、楕円曲線を設定する楕円曲線設定部と、前記有限体上の楕円曲線の位数を計算する楕円曲線位数計算部と、前記楕円曲線設定部で設定した楕円曲線を、前記与えられた条件で判定する楕円曲線条件判定部とを備え、

前記楕円曲線位数計算部は、請求項4に記載の楕円曲線位数計算装置を有する楕円曲線生成装置により生成されることを特徴とする楕円曲線暗号システム。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】本発明は情報セキュリテイ技術としての暗号技術及び、誤り訂正技術に関するものであり、特に、楕円曲線を用いて実現する暗号及びデジタル署名技術及び、楕円曲線を用いて実現する誤り訂正技術に関するものである。

【０００２】

【従来の技術】秘密通信方式とは、特定の通信相手以外に通信内容を漏らすことなく通信を行なう方式である。またデジタル署名方式とは、通信相手に通信内容の正当性を示したり、本人であることを証明する通信方式である。この署名方式には公開鍵暗号とよばれる暗号方式を用いる。公開鍵暗号は通信相手が多数の時、通信相手ごとに異なる暗号鍵を容易に管理するための方式であり、多数の通信相手と通信を行なうのに不可欠な基盤技術である。簡単に説明すると、これは暗号化鍵と復号化鍵が異なり、復号化鍵は秘密にするが、暗号化鍵を公開する方式である。この公開鍵暗号の安全性の根拠に用いられるものに離散対数問題がある。離散対数問題には代表的に、有限体上定義されるもの及び楕円曲線上定義されるものがある。これはNeal Koblitz,"A Course in Number theory and Cryptography",Springer-Verlag,1987に詳しく述べられている。楕円曲線上の離散対数問題を以下に述べる。

【０００３】(楕円曲線上の離散対数問題)E(GF(q))を有限体GF(q)(q=p^n)上定義された楕円曲線Eとし、Eの位数が大きな素数で割れる元Gをベースポイントとする。このとき、Eの与えられた元Yに対して、

Y=xG

となる整数xが存在するならばxを求めよ。

【０００４】楕円曲線上の離散対数問題には様々な解読法が提案されており、それらに対して安全な楕円曲線を構成する必要がある。現存するすべての解読法に対して安全な楕円曲線は有限体GF(q)上の楕円曲線の場合、位数がq-1,q,q+1でないこと及び位数が大きい素因数をもつことである。このとき、解読に必要な計算時間は位数の最大素因数に関する指数時間である(情報処理学会監修,岡本龍明,太田和夫共編,"暗号・ゼロ知識証明,数論",共立出版,1995,155ページ～156ページ参照)。したがって、位数が素数である楕円曲線を用いると暗号の安全性が最大になる。楕円曲線の安全性は、その楕円曲線の位数を調べることにより確認できる。

【０００５】楕円曲線の従来の構成法として、

(1)CM法を用いる構成法

(2)位数計算アルゴリズムを用いる構成法

がある。(1)は楕円曲線の構成が簡単であるが、ランダムに楕円曲線を構成できない。これはA.Miyaji,"On Ordinary Elliptic Curve Cryptosystems",ASIACRYPT'91,Springer-Verlag,1991,460ページ～469ページが詳しい。(2)はランダムに楕円曲線を構成できるが、構成時間が長い。

【０００６】(従来例1)図４は従来例1の位数計算アルゴリズムを用いる楕円曲線生成装置を示すブロック図である。(N.Koblitz,"Ellitpic Curve Implementation of Zero-Knowledge Blobs",J.Cryptology,vol.4,No.3,1991,207ページ～213ページ参照)。従来例1の楕円曲線生成装置は、乱数生成部101と、楕円曲線設定部102と、楕円曲線位数計算部103からなる。以下、従来例1の動作を説明する。

step1:乱数生成部101

乱数を発生する。

step2:楕円曲線設定部102

step1により生成した乱数に対して、楕円曲線を設定する。

step3:楕円曲線位数計算部103

step2の楕円曲線の位数を計算する。

step4:楕円曲線条件判定部104

step2の楕円曲線を与えられた条件で判定する。与えられた条件を満たすときのみ、楕円曲線のパラメータを出力する。満たさないとき、step1に戻る。

【０００７】上記で述べたように位数計算アルゴリズムを用いる構成法は計算時間が長い。上記従来例1で最も計算時間を要する箇所がstep3の楕円曲線位数計算部である。楕円曲線の位数を計算するアルゴリズムの一つにSchoofのアルゴリズムがある。このアルゴリズムは多項式時間で構成されるが、実用的な計算時間ではない。SchoofのアルゴリズムはElkies,Atkinによって、SEAアルゴリズムとして改良されている。

【０００８】(従来例2)図５は従来例2のSEAアルゴリズムによる楕円曲線位数計算装置の構成を示すブロック図で、R.Lercier,F.Morain,"Counting the number of points on elliptic curves over finite fields: strategies performances",EUROCRYPT'95,Springer-Verlag,1995,79ページ～94ページにあるものである。従来例2の楕円曲線位数計算装置は、初期値設定部201と、楕円曲線位数情報計算部202と、計算終了判定部203と、楕円曲線位数決定部204からなる。以下、従来例2の動作を説明する。

【０００９】pを素数、q=p^nとし、GF(q)上の楕円曲線Eの方程式をy^2=x^3+ax+bとする。ここで、x^aはxのa乗を示す。求める位数をmとし、tをm=q+1-tを満たすものとする。f(x)=x^3+ax+bとする。

step1:初期値設定部201

l:=2とする。

step2:楕円曲線位数情報計算部202

t mod lを求める。その際、Modular多項式Φl(T)の一変数Tの多項式環GF(q)[T]における因数分解の一次因子の数に対応して以下のように求める。 Modular多項式は、R.Schoof,"Counting points on elliptic curve over finite fields",Journal de Theorie des Nombres de Bordeux 7,1995,219ページ～254ページに詳しく述べられている。

【００１０】step2-1.一次因子の数が2のとき

t mod l を求める。さらに、Isogeny cycle 法により、t mod l^n(n=2,3,...)を求める。Isogeny cycke法は、J.M.Couveignes,F.Morain,"Schoof's algorithmand isogeny cycles",ANTS-I,Lecture Notes in Compute Scien

ce 877,Springer-Verlag,1994,43ページ～58ページに詳しく述べられている。

【００１１】step2-2.一次因子の数が1または1+1のとき t mod l を求める。さらに、Isogeny cycle 法により、t mod l^n(n=2,3,...)を求める。このとき、Isogeny cycle 法を適用可能であるか判定する。

【００１２】step2-3.一次因子の数が0のとき t mod lの取り得る値を集合{0,1,...,l-1}から絞り込む。

step3:計算終了判定部203

l1^(n1)×l2^(n2)×...×lk^(nk)<;4×q^(1/2)であるとき(l1,l2,...,lk は素数であり、lk=l)、l:=(lの次の素数)として、step2に戻る。それ以外は次のstep4へ進む。

step4:楕円曲線位数決定部204

match&;sortアルゴリズムにより、位数を確定し、出力する。match&;sortアルゴリズムは、R. Lercier,"Algorithmique des courbes elliptiques dans les corps finis", These,Ecole Polytechnique-LIX,1997 に詳しく述べられている。

【００１３】step3の判定はstep2で小さい素数lkに対して、t mod lk^(nk)まで求めていると仮定している。step2-1,step2-2ではt mod l^n(n=1,2,3,...)を求めるがこれはフロベニウス写像と呼ばれる写像の固有値を計算することによってできる。具体的には楕円曲線E上のl等分点(X,Y)を用いて、以下の式のkを求める。

【００１４】(X^q,Y^q)=k(X,Y)

ここで、k(X,Y)は点(X,Y)の楕円曲線上のk倍点であり、Y^2=f(X)=X^3+aX+bである。上式の計算はXを変数とし、GF(q)係数である多項式をある多項式を法とするXに関する1変数多項式剰余環上の楕円曲線演算によって行う。上式のkを求めるため、上式左辺のX^qとY^q=Y×Y^(q-1)を求める必要がある。このため、X^qとY^(q-1)=f(X)^((q-1)/2)の計算を行う。これらの計算に最も時間を必要とする。X^qは以下のアルゴリズムを用いて求められることが知られている。

【００１５】(従来例3)図６は従来例3の多項式演算装置の構成を示すブロック図である。従来例3の多項式演算装置は、第1冪乗計算部301と、第2冪乗計算部302からなる。以下、従来例3の動作を説明する。

【００１６】法となる多項式をr(X)、その次数をdとする。

step1:第1冪乗計算部301

X^p、X^(2p)、X^(3p)、...、X^((d-1)p) mod r(X)を求める。

step2:第2冪乗計算部302

X^(p^2)、X^(p^3)、...、X^(p^n)を求める。

【００１７】step2では、GF(q)係数である多項式g(X)に対して、

(g(X))^p=g(X^p)

となることを利用している(D.E.Knuth著,中川圭介訳,"準数値算法/算術演算",KNUTH 第4分冊,サイエンス社,266ページ～267ページ参照)。この性質より、g(X)のX,X^2,...,X^(d-1)を第1冪計算部で求めたX^p,X^(2p),...,X^((d-1)p)に置き換えることで、(g(X)^p)が得られる。

【００１８】このように、X^qを求めるアルゴリズムは存在するが、Y^(q-1)を求める有効なアルゴリズムが発表されていないため、単に従来の冪乗算を用いた計算を行う。しかし、冪乗算は計算量が大きいため、SEA アルゴリズムの計算量が大きくなるという問題がある。

【００１９】

【発明が解決しようとする課題】楕円曲線暗号システムにおいて、安全な楕円曲線パラメータを生成することは重要である。そのために、楕円曲線生成装置を用いる。

【００２０】位数計算アルゴリズムを用いる楕円曲線の生成装置では、位数計算部の実行時間が長い。位数計算アルゴリズムの従来技術であるSEAアルゴリズム(従来例2)においては、多項式剰余環上の冪乗算の計算量が大きいという欠点がある。

【００２１】本発明は、以上の従来技術における問題点を鑑みて行われたもので、多項式環上の冪乗算の計算時間を短縮することにより、楕円曲線の位数計算の計算時間を短縮し、これにより安全な公開鍵暗号及び署名方式を提供することを目的とする。

【００２２】

【課題を解決するための手段】請求項1における発明は、予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上の予め与えられた多項式r(X)(次数d)を法とする1変数多項式剰余環R=GF(q)[X]/(r(X))において、Rに属する多項式X、f(X)を入力とし、Rに属する多項式X^q、f(X)^((q-1)/2)を出力する多項式演算装置であって、前記多項式Xに対して、X^p、X^(2p)、X^(3p)、...、X^((d-1)p)を計算する第1冪乗計算手段と、f(X)^((q-1)/2)を計算する第2冪乗計算手段を備え、前記第2冪乗計算手段は、前記第1冪乗計算手段から出力される結果を用いることを特徴とする(ただし、p^nはpのn乗を示す)。

【００２３】請求項2における発明は、請求項1の第2冪乗計算手段は、f(X)^((p-1)/2)を計算する中間計算を行ってから、前記第1冪乗計算手段から出力される結果を用いて、f(X)^((p^2-1)/2)=(f(X)^((p-1)/2))^p×f(X)^((p-1)/2)、f(X)^((p^3-1)/2)=(f(X)^((p^2-1)/2))^p×f(X)^((p-1)/2)、...、f(X)^((p^n-1)/2)=(f(X)^((p^(n-1)-1)/2)^p×f(X)^((p-1)/2)により計算することを特徴とする。

【００２４】請求項3における発明は、予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上の楕円曲線を入力とし、前記楕円曲線の位数を出力する楕円曲線位数計算装置であって、予め与えられた初期値を設定する初期値設定部と、位数の情報を求める楕円曲線位数情報計算部と、前記楕円曲線位数情報計算部の終了判定を行う計算

終了判定部と、前記楕円曲線位数情報計算部から出力される情報を用いて楕円曲線の位数を決定する楕円曲線位数決定部を備え、前記楕円曲線位数情報計算部は、請求項1に記載の多項式演算装置を有することを特徴とする。

【００２５】請求項4における発明は、予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上の楕円曲線を入力とし、前記楕円曲線の位数を出力する楕円曲線位数計算装置であって、予め与えられた初期値を設定する初期値設定部と、位数の情報を求める楕円曲線位数情報計算部と、前記楕円曲線位数情報計算部の終了判定を行う計算終了判定部と、前記楕円曲線位数情報計算部から出力される情報を用いて楕円曲線の位数を決定する楕円曲線位数決定部を備え、前記楕円曲線位数情報計算部は、請求項2に記載の多項式演算装置を有することを特徴とする。

【００２６】請求項5における発明は、予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上で定義され、予め与えられた条件を満たす楕円曲線を出力する楕円曲線生成装置であって、予め与えられた楕円曲線設定値に基づいて、楕円曲線を設定する楕円曲線設定部と、前記有限体上の楕円曲線の位数を計算する楕円曲線位数計算部と、前記楕円曲線設定部で設定した楕円曲線を、前記与えられた条件で判定する楕円曲線条件判定部を備え、前期楕円曲線位数計算部は、請求項3に記載の楕円曲線位数計算装置を有することを特徴とする。

【００２７】請求項6における発明は、予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上で定義され、予め与えられた条件を満たす楕円曲線を出力する楕円曲線生成装置であって、予め与えられた楕円曲線設定値に基づいて、楕円曲線を設定する楕円曲線設定部と、前記有限体上の楕円曲線の位数を計算する楕円曲線位数計算部と、前記楕円曲線設定部で設定した楕円曲線を、前記与えられた条件で判定する楕円曲線条件判定部を備え、前期楕円曲線位数計算部は、請求項4に記載の楕円曲線位数計算装置を有することを特徴とする。

【００２８】請求項7における発明は、予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上で定義され、予め与えられた条件を満たす楕円曲線を用いる楕円曲線暗号システムであって、予め与えられた楕円曲線設定値に基づいて、楕円曲線を設定する楕円曲線設定部と、前記有限体上の楕円曲線の位数を計算する楕円曲線位数計算部と、前記楕円曲線設定部で設定した楕円曲線を、前記与えられた条件で判定する楕円曲線条件判定部を備え、前期楕円曲線位数計算部は、請求項3に記載の楕円曲線位数計算装置を有する楕円曲線生成装置により、生成されることを特徴とする。

【００２９】請求項8における発明は、予め与えられた有限体GF(p)の拡大体GF(q)(q=p^n)上で定義され、予め与えられた条件を満たす楕円曲線を用いる楕円曲線暗号システムであって、予め与えられた楕円曲線設定値に基づいて、楕円曲線を設定する楕円曲線設定部と、前記有限体上の楕円曲線の位数を計算する楕円曲線位数計算部と、前記楕円曲線設定部で設定した楕円曲線を、前記与えられた条件で判定する楕円曲線条件判定部を備え、前期楕円曲線位数計算部は、請求項4に記載の楕円曲線位数計算装置を有する楕円曲線生成装置により、生成されることを特徴とする。

【００３０】

【発明の実施の形態】図１は、本実施形態における多項式演算装置の構成を示すブロック図である。

【００３１】この多項式演算装置は、従来例2のSEAアルゴリズムの多項式剰余環上の冪乗演算を実現するものであり、GF(q)(q=p^n、p:素数)を有限体、Xを変数とし、GF(q)係数である予め与えられたr(X)(次数d)を法とする1変数多項式剰余環R=GF(q)[X]/(r(X))において、Rに属する多項式Xとf(X)を入力とし、X^qとf(X)^((q-1)/2)を出力するものである。

【００３２】多項式演算装置40は、第1冪乗計算部401と、第2冪乗計算部402と、第3冪乗計算部403と、第4冪乗計算部404を備える。

【００３３】第1冪乗計算部401は、Rに属するXを入力とし、X^p、X^(2p)、X^(3p)、...、X^((d-1)p)を計算し、出力する。

【００３４】第2冪乗計算部402は、Rに属するXと第1冪乗計算部401から出力されたX^p,X^(2p),...,X^((d-1)p)を入力とし、X^qを出力する。

【００３５】第3冪乗計算部404は、Rに属するf(X)と第1冪乗計算部401から出力されたX^p,X^(2p),...,X^((d-1)p)を入力とし、f(X)^((q-1)/2)を計算する。

【００３６】(第2冪乗計算部402の構成)図２は、第2冪乗計算部402の構成を示すブロック図である。

【００３７】第2冪乗計算部402は、Rに属するXと第1冪乗計算部401から出力されたX^p,X^(2p),...,X^((d-1)p)を入力とし、X^qを出力する多項式演算装置である。

【００３８】第2冪乗計算部402は、初期値設定部4021と、多項式変換部4022と、終了判定部4023を備える。

【００３９】初期値設定部4021は、c=1(cはカウンタ)、g(X)=X^pに設定する。

【００４０】多項式変換部4022は、g(X)と第1冪乗計算部401から出力されたX^p,X^(2p),...,X^((d-1)p)を入力とし、(g(X))^pを計算し、g(X)に改めておく。

【００４１】多項式変換部4022では以下の計算を行う。

【００４２】(g(X))^p=g0+g1X^p+g2X^(2p)+...+g(d-1)X^((d-1)p)

ここで、g(X)=g0+g1X+g2X^2+...+g(d-1)X^(d-1)(g0、g1、...、g(d-1)はGF(q)の元)であると仮定している。

【００４３】終了判定部4023は、c=nであるか否かを判定する。

【００４４】以下に、第2冪乗計算部402の動作を示す。

【００４５】初期値計算部4021は、カウンタc=1,g(X)=X^pに設定し、多項式変換部4022にg(X)と第1冪乗計算部401から出力されたX^p,X^(2p),...,X^((d-1)p)を入力する。多項式変換部4022は、(g(X))^pを計算し、g(X)に改めておく。終了判定部で4023は、c=nであるか否かを判定し、c=nであるときは、g(X)を出力し、終了。それ以外は、cにc+1を改めておき、多項式変換部4022に戻る。

【００４６】(第3冪乗計算部403の構成)図3は、第3冪乗計算部403の構成を示すブロック図である。

【００４７】第3冪乗計算部403は、Rに属するf(X)と第1冪乗計算部401から出力されたX^p,X^(2p),...,X^((d-1)p)を入力とし、f(X)^((q-1)/2)を計算する多項式演算装置である。

【００４８】第3冪乗計算部403は、中間計算部4031と、初期値設定部4032と、多項式変換部4033と、多項式乗算部4034と、終了判定部4035を備える。

【００４９】中間計算部4031は、f(X)^((p-1)/2)を計算する。

【００５０】初期値設定部4032は、c=1、g(X)=f(X)^((p-1)/2)に設定する。

【００５１】多項式変換部4033は、多項式変換部4022と同一である。

【００５２】多項式乗算部4034は、g(X)とf(X)^((p-1)/2)を乗算する。

【００５３】終了判定部4035は、c=nであるか否かを判定する。

【００５４】以下に、第3冪乗計算部403の動作を示す。

【００５５】中間計算部4031は、f(X)^((p-1)/2)を計算し、出力する。初期値計算部4032は、カウンタc=1,g(X)=f(X)^((p-1)/2)に設定し、多項式変換部4033にg(X)と第1冪乗計算部401から出力されたX^p,X^(2p),...,X^((d-1)p)を入力する。多項式変換部4033は、(g(X))^pを計算し、g(X)に改めておく。多項式乗算部4034で、g(X)とf(X)^((p-1)/2)を乗算し、g(X)に改めておく。終了判定部4035は、c=nであるか否かを判定し、c=nであるときは、g(X)を出力し、終了。それ以外は、cにc+1を改めておき、多項式変換部4033に戻る。

【００５６】以下に、本多項式演算装置40の動作を示す。

【００５７】本装置が起動されると、まず、第1冪乗計算部401はX^p、X^(2p)、X^(3p)、...、X^((d-1)p)を計算し出力する。第2冪乗計算部402は、第1冪乗計算部401から出力されたX^p、X^(2p)、X^(3p)、...、X^((d-1)p)とXを入力とし、X^qを計算し出力する。次に第3冪乗計算部403は、第1冪乗計算部401から出力されたX^p、X^(2p)、X^(3p)、...、X^((d-1)p)とXを入力とし、f(X)^((q-1)/2)を計算し、X^qとf(X)^((q-1)/2)を出力する。

【００５８】この例の計算量について説明する。本実施形態は従来例2のSEAアルゴリズムで用いられる。以下で、従来の方法との比較を行う。

【００５９】多項式乗算の計算量をPMulとする。従来の方法では、f(X)^((q-1)/2)を単に冪乗を行うことにより、求めていた。この場合、計算量は3/2¦q¦×PMulである(¦q¦はqのビット数)。それに対して、本実施形態では、中間計算部4031の計算量が、3/2¦p¦×PMul(¦p¦はpのビット数)であり、多項式変換部4033の計算量は1×PMul、多項式乗算部4034の計算量は1×PMulであり、多項式変換部4043と多項式乗算部4044は、n-1回繰り返すので、全体の計算量は、(3/2¦p¦+2×n-2)×PMulである。¦q¦=160、¦p¦=32、n=5の場合、従来の方法では、f(X)^((q-1)/2)を求める計算量は、240×PMulであり、本実施形態1では、56×PMulである。したがって、f(X)^((p-1)/2)の計算が高速な多項式演算装置の効果は大きい。なお、本実施形態を用いた位数計算装置、楕円曲線生成装置並びに、楕円曲線暗号システムが実現可能となる

【００６０】

【発明の効果】以上に説明したように本発明は、従来例における問題点を鑑みて行われたもので、SEAアルゴリズムにおいては、多項式環上の冪乗演算の計算時間を短縮できた。

【００６１】以上により、高速に安全な暗号方式や署名方式を可能にする楕円曲線生成装置を提供することができ，その実用的価値は大きい。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の実施形態における多項式演算装置のブロック図

【図２】本発明の実施形態における第2冪乗計算部402の構成を示すブロック図

【図３】本発明の実施形態における第3冪乗計算部403の構成を示すブロック図

【図４】従来例1の楕円曲線生成装置のブロック図

【図５】従来例2のSEAアルゴリズムによる楕円曲線位数計算装置のブロック図

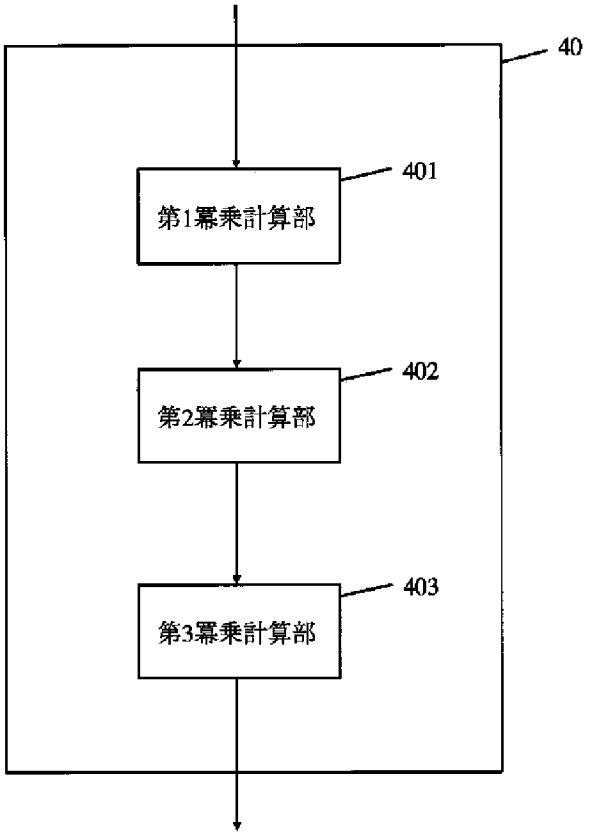
【図６】従来例3の多項式演算装置のブロック図

【符号の説明】

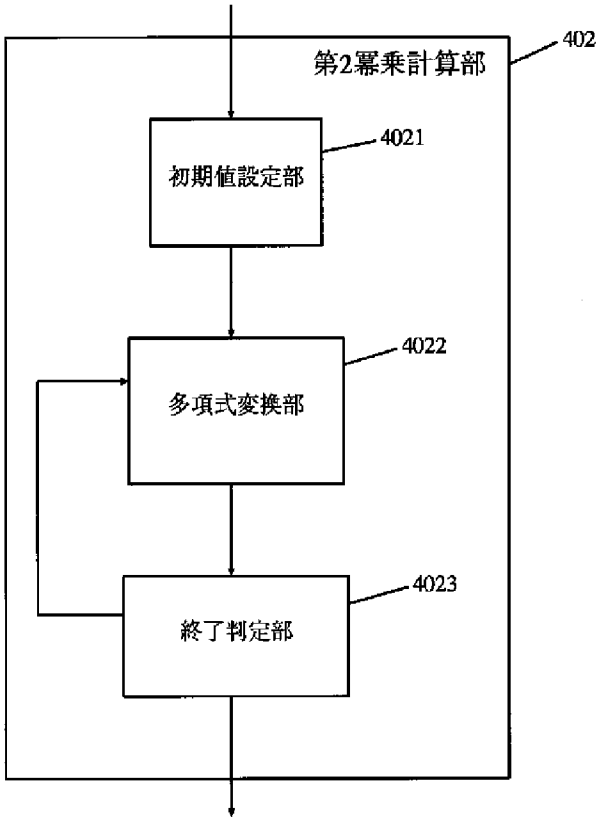
１０　従来例1の楕円曲線生成装置
１０１　乱数生成部
１０２　楕円曲線設定部
１０３　楕円曲線位数計算部
１０４　楕円曲線条件判定部
２０　従来例2のSEAアルゴリズムによる楕円曲線位数計算装置
２０１　初期値設定部
２０２　楕円曲線位数情報計算部
２０３　計算終了判定部
２０４　楕円曲線位数決定部
３０　従来例3の多項式演算装置
３０１　第1冪乗計算部
３０２　第2冪乗計算部
４０　本発明の実施形態1の多項式演算装置

４０１　第1冪乗計算部
４０２　第2冪乗計算部
４０２１　初期値設定部
４０２２　多項式変換部
４０２３　終了判定部
４０３　　第3冪乗計算部
４０３１　中間計算部
４０３２　初期値設定部
４０３３　多項式変換部
４０３４　多項式乗算部
４０３５　終了判定部

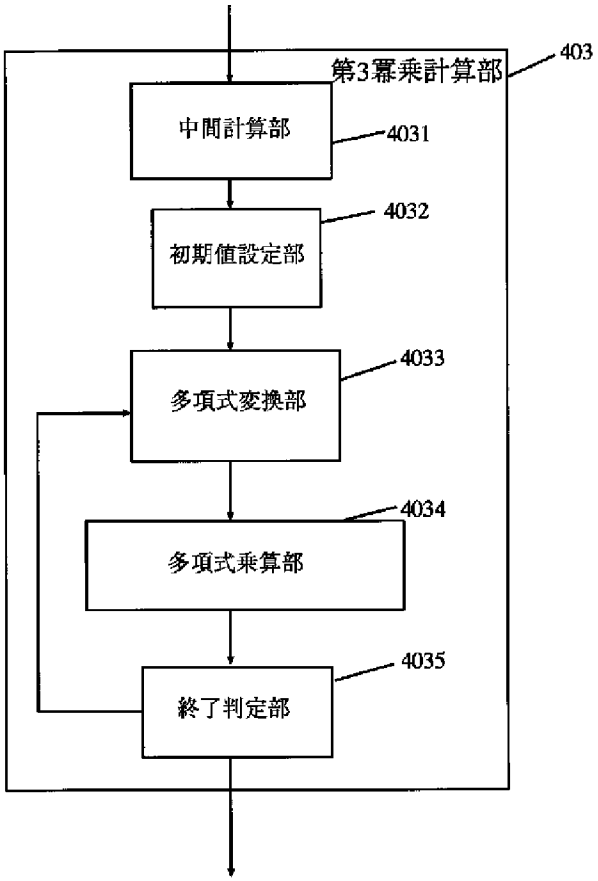
【図１】



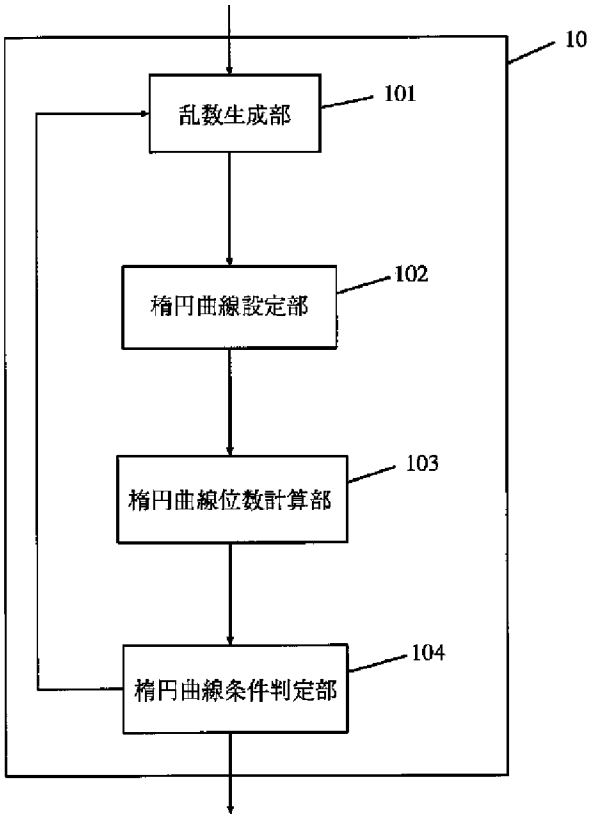
【図２】



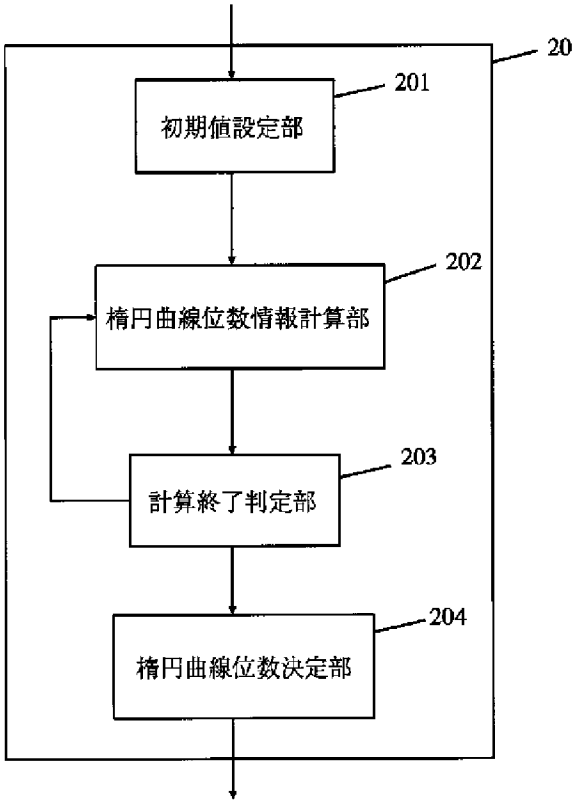
【図3】


第3冪乗計算部
403
中間計算部
4031
初期値設定部
4032
多項式変換部
4033
多項式乗算部
4034
終了判定部
4035

【図4】


10
乱数生成部
101
楕円曲線設定部
102
楕円曲線位数計算部
103
楕円曲線条件判定部
104

【図5】


20
初期値設定部
201
楕円曲線位数情報計算部
202
計算終了判定部
203
楕円曲線位数決定部
204

【図6】